弾速計測システム説明書

－防衛省規格 NDS　Y　1208 火砲の弾丸速度測定方法との対応－

平成 19 年 5 月 18 日　V.1
平成 19 年 6 月 22 日　V.2
平成 19 年 7 月 4 日　V.3
平成 19 年 7 月 27 日　V.4
平成 19 年 8 月 27 日　V.5
平成 19 年 9 月 3 日　V.6
平成 19 年 10 月 17 日　V.7
平成 20 年 8 月 31 日　V.8
平成 20 年 12 月 4 日　V.9

東海プラネット株式会社

目　次

１．測定原理と品質保証・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・p.4

２．システムの概要・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・p.5

３．製品仕様・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・p.6

３－１　センサー及び専用ケーブル	(1) ルミラインスクリーン式弾速計測装置・光検出器【製造終了製品】	TS0475	p.6
	(2) ルミラインスクリーン式ニューフォトセンサー（ツツイ電子製-昭栄電機販売）【製造終了製品】	NFS300	p.7
	(3) フォトスクリーン改造型（菅原研究所製）	SPU-3C-U2	p.8
	(4) 【新製品】ルミラインスクリーン	TS0793	p.9
	(5)【新製品】デジタル・ラインドライバーボックス及び専用ケーブル	TS0778-2 他	p.10
３－２　インターフェース	(1)弾速計測インターフェースボックス	TS0778-1	p.12
３－３　弾丸速度測定 PC システム	(1)弾速計測 PC セット	TS-PC-S	p.14
	(2)弾速計測ソフト	TS-Dansoku-S	p.15

４．品質保証・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・p.16

４－１「火砲の弾丸速度測定方法　解説」の推奨する最大許容誤差±0.1%との対応　・・・・・・・・・・・p.16

４－２「試験成績書(A)／(B)」の検査仕様・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・p.21

４－３　的間距離測定のツール（デジタル写真計測とレーザー距離計）・・・・・・・・・p.25

４－４「NDS　Y　1210 火砲の発射速度測定方法」との関連他・・・・・・・・・・・・p.27

５．運用方法・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・p.29

５－１　的間距離 3mの適用範囲・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・p.29
５－２　的間距離 3m以下の検討・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・p.30

６．納入実績と比較表・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・p.34
６－１　納入実績・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・p.34
６－２　現行するルミラインスクリーン２機種の比較と評価・・・・・・・・・・・p.35

後記・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・p.36

弾速計測システム説明書

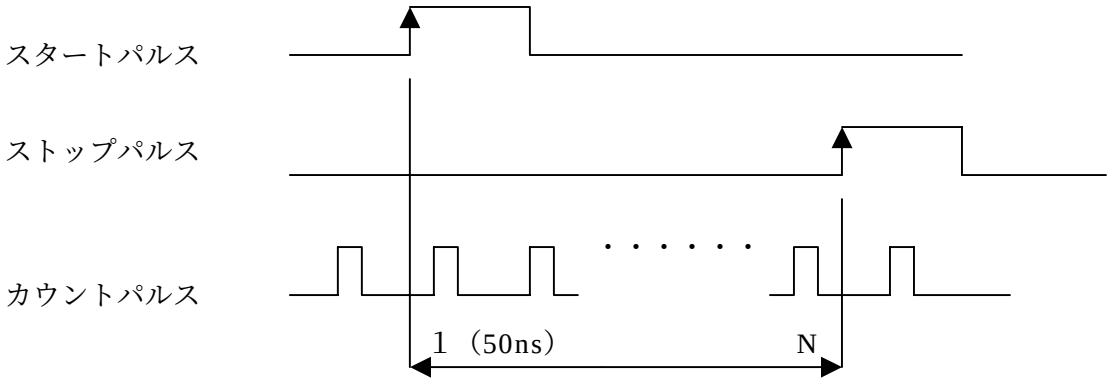
－防衛省規格 NDS　Y　1208 火砲の弾丸速度測定方法との対応－

１．測定原理と品質保証

ルミラインスクリーンによる弾速計測システムは、「防衛省規格　部門 Y 武器　NDS Y　1208　火砲の弾丸速度測定方法」に基づく的間平均速度測定装置である。そして、その測定方法は、同規格の「3.測定方法の種類(2)的間平均速度測定方法(c)ルミラインスクリーンによる測定方法」に準拠する。ルミラインスクリーンとは、線状の光の幕、つまり線光源とフォトディテクター（光検出器）から構成されるフォトスクリーンのことである。

この検出装置をスタートパルス用とストップパルス用１組の構成にして、射線上に直交する位置に設置し、時間測定装置（カウンター）と接続する。この検出器はスクリーン内を飛翔する弾丸の投影を瞬時に検出して同期パルスを出力するから、予め設定した的間距離データ（mm）を、時間測定装置でカウントした時間データ（ms）で割れば、弾丸の的間平均速度（m/s）が求められる。以上の測定方法の図解が、図 1 測定原理である。ただし、カウントパルス N：50ns（20MHz）の設定は、弊社の「弾速計測 PC セット（S)」の標準仕様であり、必要に応じてより高速な 12.5ns（80MHz）の選択も可能である。

図１　測定原理



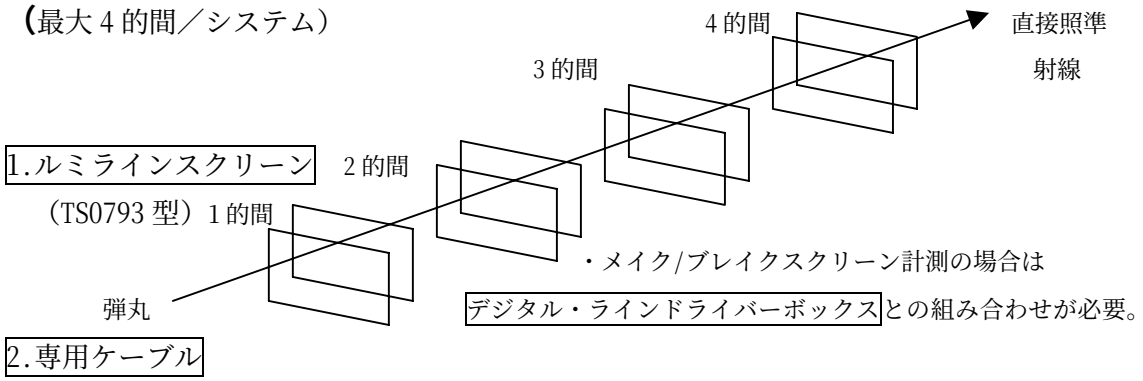
弾速(m/s)＝的間距離（mm）／的間時間（ms）

以上の測定原理に基づく速度測定方法であるが、精度については同規格内に「最大許容誤差」を明記しないで、「火砲の弾丸速度測定方法　解説」を添付して、TOP（4-2-805 Projectile　Velocity　Measurements）に示された、最大許容誤差±0.1%を推奨している。その所以を「解説」の筆者は、「精度保証の具体的方法が明確でないので採用しなかった」と真摯に述べられているが、弊社は±0.1%の精度を事実上の制定値と捉えて、その精度保証の具体的方法を４項の品質保証で検討させていただくこととした。

２．システムの概要

弊社の弾速計測システムは、新製品のルミラインスクリーンとブレイク／メイクスクリーン、つまり線的／箔的にデジタル・ラインドライバーボックスを付加したセンサーの混成を可能とする最大４的間の的間平均弾丸速度測定装置である。勿論ルミラインスクリーン４的間、ブレイク／メイクスクリーン４的間の単一な構成を基本とする。混成の場合は、接続センサーの種類によって、インターフェースの電気回路が若干異なるため、チャンネル指定を必要とする。相違点はセンサーに電源供給が必要かかどうかだけであり、検出パルスを送受信するラインドライバー／レシーバーは同一である。また使用する専用ケーブルと PC システムは共通化してある。

図２　概要図



3.弾速計測インターフェースボックス（TS0778-1 型）

4.1 弾丸速度測定 PC システム・弾速計測 PC セット（S）（TS-PC-S 型）

4.2 弾丸速度測定 PC システム・弾速計測ソフト（S）（TS-Dansoku-S 型）

・連続射撃対応の PC システム（M）の構築も可能。

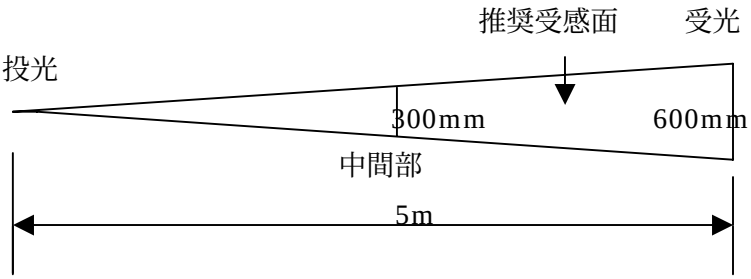
参考　NDS　Y1208　「表１　測定方法の選定」からの抜粋　備考 A：適用できる。B：適用の可能性あり。

測　定　方　法	弾丸（40mm 超え）		弾丸	破片
	直接照準	間接照準	（40mm 以下）	
火砲弾薬用検速装置（ドップラー式）	A	A	A	B
ソレノイドコイル	A	A	－	－
スカイスクリーン	A	A	－	－
ルミラインスクリーン	－	－	A	A
メイクスクリーン／ブレイクスクリーン	A	－	A	A

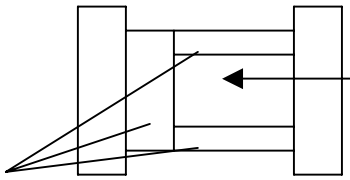
３．製品仕様

３－１ センサー及び専用ケーブル

(1)　弾速計測装置　光検出器 TS0475 の仕様　【製造終了製品】

番号	項　目	内　　容
1	構成	２台／組（スタート検出器とストップ検出器）
2	検出方式	ルミラインスクリーン（線光源の幕）透過型光検出方式
3	検出対象	5mm 以上の弾丸または破片
4	投・受光器間隔	屋外射場で 5m（受光素子への太陽光直射は不可）
5	投光器の光源	ハロゲンランプ　120V-650W（連続 300 時間）
6	受光器の光素子	フォトトランジスタ×100 個
7	スクリーンの光学系	スライドプロジェクター方式
8	受感面	投・受光器間の中間部 2.5m 地点で縦 300mm、受光面開口寸法は 600mm あるから、その間の扇状スクリーンが受感面になる。（受光器に近いほど感度は上がるため射線は中間部から受光側に定めることを推奨。） 
9	出力信号	現状は 1Vp／5Vp アナログパルス（デジタル出力に改造可）
10	出力ケーブル	光検出器ケーブル(S) LC25M　25m×2／1 組
		光検出器ケーブル(M) LC100M リール付き 100m×2／1 組
		光検出器リール接続ケーブル　LR3M 3m×2／１組
11	受光素子チェック	受光パネルのスリットを順次部分的に遮光してチェック用 LED を ON／OFF させる。
12	システムチェック	受光器の押しボタンスイッチで出力
13	外形寸法	縦 700×横 300×奥行き 450mm（投・受光器共通）
14	電源	AC100V±10%　50／60Hz
15	PC システム対応	インターフェースボックス TS0778-1 経由で対応
16	品質保証	防衛省 NDS 規格に準拠する試験成績書を発行する。

(2)　ニューフォトセンサーの仕様　(有)ツツイ電子製　【製造終了製品】

番号	項　目	内　　容
1	構成	２台／組（スタート検出器とストップ検出器）
2	検出方式	ルミラインスクリーン光変調方式（変調周波数 2MHz）
3	検出対象	5mm 以上の弾丸または破片
4	最小応答速度	1μs　（カウンターの読み：0.1μs を四捨五入）
5	投光器の光源	高輝度 LED
6	受光器の光素子	pin 結合のフォトダイオード
7	投・受光器の開口部距離	横 350mm×高さ 300mm
8	有効受感面	投光器　受光器  有効受感面 横 300mm×高さ 260mm 不感帯：開口部の投光側約 50mm と上下各 20mm（約）
9	出力信号	（１）デジタルパルス出力（BNC コネクター） 0-5VTTL レベル：立下りエッジ 出力インピーダンス：50Ω （２）アナログ出力（25 極 D-Sub コネクター） 10ch の原波形モニター
10	出力ケーブル	両端 BNC の同軸ケーブル（50Ω）
11	検出確認	ケーブル長 5m の検出表示 LED ランプを装備
12	外形寸法	高さ 800×幅 750×奥行き 100mm（投・受光器共通）
13	取り付けベース	幅 880×高さ 20×奥行き 100mm　⌐¬ 型の長方形
14	最小的間距離	100mm
15	質量	約 21kg／台
16	電源	AC100V±10%
１７	消費電力	250VA
18	過渡弾道対策	検出器に通過孔付き防護板取り付けビス穴 M5 を装備
19	PC システム対応	インターフェースボックス TS0778-1 経由で対応
20	品質保証	東海プラネット㈱は防衛省 NDS 規格に準拠する試験成績書を発行する。

(3) フォトスクリーン改造型　㈱菅原研究所製　SPU-3C-U2

フォトスクリーン SPU-3 シリーズは官民共に相当数の実績があるが、デジタル出力改造型の SPU-3C-U2 は民間実績だけである。この機種は、旧昭栄電機㈱の指定で改造されたもので、納入後今日まで安定した測定を続けている。ともすれば検出の不安定性を指摘された同モデルであるが、出力段にデジタルのラインドライバーを組み込むことで本来の安定した高感度検出性能を発揮している。ただし、出力信号はペアとなるラインレシーバーと組まなければならない。既納品の改造、及び新規ご注文をお請けさせていただいている。

＜改造仕様＞

- デジタル出力への改造は、製造元の㈱菅原研究所が行う。
- 測定は、ペアとなるラインレシーバーを内臓する東海プラネット㈱製の弾速計測インターフェースボックス TS0778-1 と組み合わせて行う。
- 接続は、東海プラネット㈱製のフォトスクリーンケーブルを使用する。
- 改造後、東海プラネット㈱は防衛省 NDS 規格に準拠する検査仕様に基づく試験を実施し、試験成績書を発行して品質を保証する。

フォトスクリーンケーブルの構成

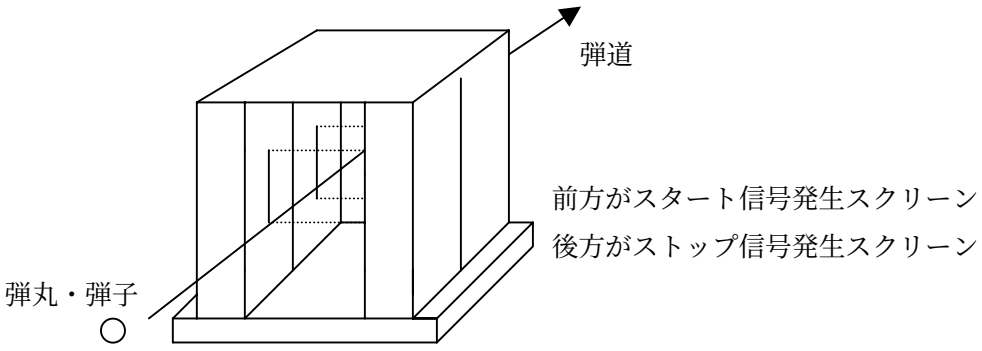
	品　名	規　格	数量
1	フォトスクリーンケーブル(S)	FC25M、ツイストペアシールドケーブル 6.1mm、両端専用コネクター	2 本 1 組
2	フォトスクリーンケーブル(M)	FC100M、ツイストペアシールドケーブル 6.1mm、両端専用コネクター	2 本 1 組
3	フォトリールケーブル	FR3M、ツイストペアシールドケーブル 6.1mm、両端専用コネクター	2 本 1 組

(4)　【新製品】ルミラインスクリーン　TS-0793 の仕様

番号	項　目	内　　容
1	構成	２台／組（スタート検出器とストップ検出器）
2	検出方式	投光・受光一対対向による光学式非接触検出方式
3	検出対象	5mm以上の弾丸または破片
4	最小応答速度	－
5	投光器の光源	レーザーダイオード（650nm）赤色光
6	受光器の光素子	ｐin 結合のフォトダイオード
7	投・受光器の開口部面積	横 1,000mm×高さ 500mm
8	有効受感面	同上
9	出力信号	デジタルパルス出力（防水コネクター） 0-5VTTL レベル
10	出力ケーブル	デジタル・ラインドライバー専用ケーブル
11	検出確認	弾速計測インターフェースボックスで LED 表示
12	構造	簡易型防塵防滴仕様
13	外形寸法	－（投・受光器共通）
14	最小的間距離	200mm
15	質量	－
16	電源	AC100V±10%
17	消費電力	－
18	過渡弾道対策	検出器に通過孔付き防護板取り付けビス穴 M5 を装備
19	PC システム対応	弾速計測インターフェースボックス経由で対応
20	品質保証	防衛省 NDS 規格に準拠する試験成績書を発行する。

仕様は、改造により変更される場合があります。

概要図



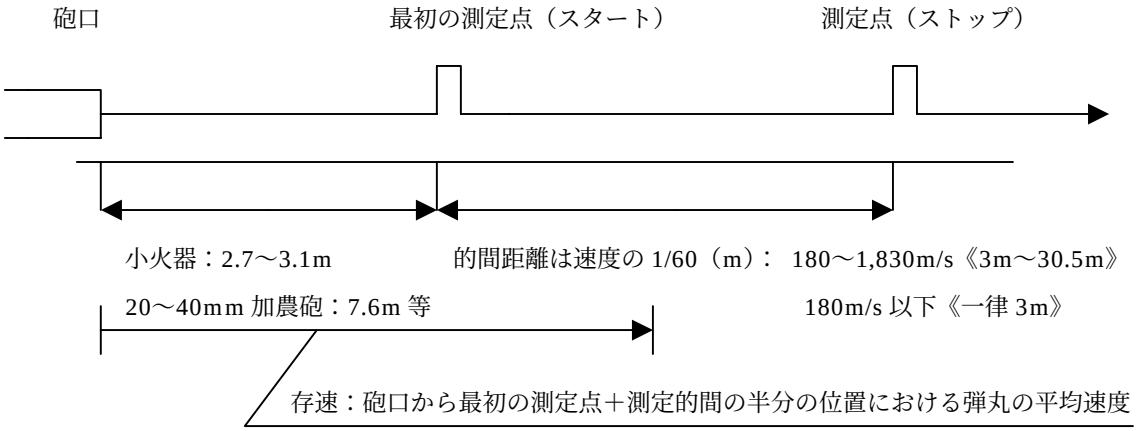
（5）【新製品】デジタル・ラインドライバーボックス　TS0778-2

＜接触センサー検出パルスのデジタル化＞

この装置は線的・箔的（ブレイクスクリーン・メイクスクリーン）による的間平均速度測定方法を高応答・高精度に実施することを目的としたアナログ／デジタルパルス変換用前置装置であり、次項の弾速計測インターフェースボックスと接続することで初めてその機能を発揮する。

本装置は線的の出力するブレイクパルス信号を、その場で直ちにラインドライバーを用いてデジタル化する。一方、受信側のインターフェースボックスにはペアとなるラインレシーバーを組み込み一対化する。送信と受信は専用のツイストペア、シールドケーブルで結び、伝送路の S／N 比を高める。こうして一定電圧で信号をデジタル化することは、第 1 に高速応答性の確保であり、第 2 に検出レベルを一定に保つことであり、第 3 にケーブルのノイズ対策である。この 3 利点の掛け算によりスタート用とストップ用の 2 枚の線的に生ずる応答時間差は最小限に押さえられることになる。では、なぜ 100m 級のケーブルが必要なのであろうか、つぎの防衛省 NDS 規格が参考になる。

図 3　的の測定点設定（防衛省規格 NDS　Y　1208　6.2.2（１）及び 6.4 の図解）



以上の規格に準じて射撃試験計画を立てるならば､1,830m/s の場合は､的間距離を 30.5m に設定することになる。しかも、各種試験は「存速」だけを測るとは限らない。「着速」測定や過渡弾道の影響を受けないぎりぎりの線まで砲口に近づく「初速」測定もあり得る。

また、ドップラー式検速装置との併用では、弾速 400m/s を境にして、砲口から約 60m か 120m の地点を中心にして測定点が定められる。

ケーブル引き回しの余裕と安全性を考慮すれば、装置提供者はケーブル長 100m クラスの信号伝送を保証しなければならない。そのためにはデジタル化が必須となる。ルミライン系は筐体内に基板を追加することでデジタル化できるが、センサーがむき出しの線的や箔的の場合は、その近傍にアナログパルスをデジタル変換するデジタル・ラインドライバ

ーボックスを付加して対策とする。検出したアナログパルスをデジタル化することの諸々の利点は、一口でいえば計測の信頼性を高めることに尽きる。デジタル・ラインドライバーボックスは、接触センサーを用いた弾丸速度測定には欠かすことのできない装置なのである。

デジタル・ラインドライバーボックス　TS0778-2 の仕様

番号	項　目	接続先	内　容
1	前面入（出）力パネル	線的／箔的	入（出）力端子：防水型 メイク／ブレイク信号検出回路 センサー印加電圧：DC5V
2	背面入（出）力パネル	弾速計測インターフェースボックス	入（出）力端子：防水型 ラインドライバーによるデジタルパルス出力回路
3	外形寸法		防水・防塵アルミダイキャストボックス W80×D80×H60mm
4	電源		弾速計測インターフェースボックスから供給（DC12V）
5	品質保証		防衛省 NDS 規格に準拠する試験成績書を発行する。

ルミラインスクリーン／デジタル・ラインドライバー専用ケーブルの構成

番号	品　名	規　格	数量
1	専用リード線	ワニ口クリップ（大）付き　3m SL3M	2 本 1 組
2	専用ケーブル（S）	ツイストペアシールドケーブル 6.4mm 両端端防水コネクター付き 25m SC25M	2 本 1 組
3	専用ケーブル（M）	ツイストペアシールドケーブル 6.4mm 両端防水コネクター付きリール巻き 100m SC100M	2 巻 1 組
4	専用リールケーブル	ツイストペアシールドケーブル 6.4mm 両端防水コネクター付き 3m SR3M	2 本 1 組

３－２　インターフェース

検出器とパソコンを結ぶ波形整形器であり信号分配器である。線的・箔的、ルミライン系を問わず、デジタル化されたパルス信号は専用ケーブルで本器によりデジタル受信され、共通信号に整合されて PC に通信することで速度演算される。また、フロントパネルには検出状況を知らせる LED とモニタ出力端子を設け、さらに外部同期出力端子を準備した。

（１）弾速計測インターフェースボックス　TS0778-1 の仕様（混成例）

番号	項目	接　続　先	内　　容
1	背面 IO パネル	的間１．ルミラインスクリーン１と接続	IO 端子：防水型　スタート／ストップ各１ 検出器とペアとなるラインレシーバー内臓
2		的間 2．デジタル・ラインドライバーボックスと接続。代表例：線的 1	IO 端子：防水型　スタート／ストップ各１ 検出器とペアとなるラインレシーバー内臓 デジタル･ラインドライバーボックス接続の供給電圧：DC12V
3		的間 3．ルミラインスクリーン 2 と接続	IO 端子：防水型　スタート／ストップ各１ ペアとなるラインレシーバー内臓
4		的間 4．デジタル・ラインドライバーボックスと接続。代表例：線的 2	IO 端子：防水型　スタート／ストップ各１ 検出器とペアとなるラインレシーバー内臓 デジタル･ラインドライバーボックス接続の供給電圧：DC12V
5		PC 通信	出力端子：D-sub25 ピン 出力波形は下記のモニタ出力波形と共通
6	前面モニタ出力パネル	的間 1．LED 付モニタ出力 ルミラインスクリーン１の場合	 5VTTL パルス（10ms±5%） スタート／ストップ BNC 各１
7		的間 2．LED 付モニタ出力 線的１の場合	 5V 立ち上がり スタート／ストップ BNC 各１
8		的間 3．LED 付モニタ出力 ルミラインスクリーン 2 の場合	 5V　TTL パルス（10ms±5%） スタート／ストップ BNC 各１
9		的間 4．LED 付モニタ出力 線的 2 の場合	 5V 立ち上がり スタート／ストップ BNC 各１
１０		外部同期出力	 5V　TTL パルス（10ms±5%） 的間 1．のスタートパルスに同期　BNC ×１
１１	外形寸法		W260×D280×H132.5mm
１２	電源		AC100V±10%
１３	品質保証		防衛省 NDS 規格に準拠する試験成績書を発行

弾速計測インターフェースボックス　LED 発光の ON-OFF 一覧表（例）

接続センサー		弾丸検出	正常待機
1 的間：ルミラインスクリーン 1	スタート	ON	OFF
	ストップ	ON	OFF
2 的間：メイク/ブレイクスクリーン 1	スタート	OFF	ON
	ストップ	OFF	ON
3 的間：ルミラインスクリーン 2	スタート	ON	OFF
	ストップ	ON	OFF
4 的間：メイク/ブレイクスクリーン 2	スタート	OFF	ON
	ストップ	OFF	ON

３－３　弾丸速度測定 PC システム

防衛省規格では、「カウンタ・クロノグラフと計算クロノグラフ」という名称で表現しているが、現実的にはカウンターを組み込んだパソコンということになる。弊社は、独立 4 チャンネルのカウンターボードを組み込んだ汎用 OS 版の PC セットを提案している。射撃試験における速度計測の、安定した測定と精度の保証、通信の信頼性と試験の安全性確保、データ活用の応用性、という三つの課題に応えるためには、PC によるシステム構築が一番良いと判断したからである。

（1）弾速計測 PC セット（S）　TS-PC-S の仕様

番号	項　目	内　　容
1	測定的間数	4 的間 内訳 1 的間　センサーの指定による 2 的間　　同上 3 的間　　同上 4 的間　　同上
2	カウンター／タイマーボード	単射独立 4 的間仕様：1 枚
3	時間分解能	20MHz（50nsec）
4	ボードの型式	NI　PCI-6601
5	標準付属ケーブル	IFC1.5M　I／F ボックスとの接続用シールドケーブル：1.5m　D-Sub25p～NI 社コネクター
6	PC の一般仕様	OS：マイクロソフト社の WindowsXP　Pro（H19.12 現在）、また同社の EXCEL をプリインストール 形状：ミニタワー型／メーカー選定：原則として HP から選択 保証：3 年間保証オンサイト／コンボドライブ：CD-RW 以上 PCI 増設モジュールスロットル付き／リカバリーメディア付属 型式は、モデル更新が早いため規定をせず、十分な処理機能を有すること、とする。
7	ディスプレイ	１７インチ液晶モデル
8	PC の環境設定	カウンター／タイマーのドライバー設定や計測ソフト等のインストールは弊社社内で行い現地調整後お引渡しする。ソフトに特別仕様を含む場合の開発環境設定も、この PC セットで行う。
9	品質保証	防衛省 NDS 規格に準拠する試験成績書を発行する。

（2）弾速計測ソフト

本弾速計測ソフトは、仕様を独立 4 的間選択の単射モードに絞り込んだ実行ファイルとカウンタードライバーソフトで構成する CD１枚のプログラムと取扱説明書の提供である。共通記録項目、的間平均速度測定方法は「防衛省規格」NDS　Y　1208　7.1 及び 7.2 に準拠する。

弾速計測ソフト(S)　TS-Dansoku-S の仕様

番号	項　目	内　　容
1	ソフトウェア起動	メイン画面、取扱説明書による。 単射　4 的間 内訳 1 的間　センサーの指定による 2 的間　　同上 3 的間　　同上 4 的間　　同上
2	計測準備	条件設定画面 [共通記録項目] 測定年月日／測定場所／火砲の名称、砲身番号／累積発射段数／弾種、弾丸飛翔質量／弾番／時刻／射角／空気密度／気象データ／測定方法の種類
3	計測開始	[的間平均速度測定方法] ①使用装置・器具の種類及び型式 ②距離（水平か斜めかを選択）：砲口から最初のセンサーまで、センサー間、最後のセンサーから標的まで(L：mm)、チャンネル毎の設定 ③的間時間（ｔ：ms またはμs） ④存速（V：m／s） ⑤初速又は着速（NDS　Y　1208　「火砲の弾丸速度測定方法　解説」の計算式による）
4	計測終了	取扱説明書による
5	データ整理	データフォーマット データ,No.,月日,時刻,条件,V1, V2 ,V3, V4, t1, t2, t3, t4, memo 単位（V：m/sec、t：ms またはμsec）
6	データリスト印刷	取扱説明書による
7	ソフトウェア終了	取扱説明書による
8	品質保証	防衛省 NDS 規格に準拠する試験成績書を発行する。

４．品質保証

４－１ 「火砲の弾丸速度測定方法　解説」の推奨する最大許容誤差±0.1%との対応

防衛省規格　部門 Y 武器　NDS　Y　1208　「火砲の弾丸速度測定法　解説」は、測定の最大許容誤差について、つぎのとおり推奨している。

解説表 1　測定装置及び器具又は測定系の最大許容誤差

測定装置及び器具又は測定系	測定の最大許容誤差
火砲弾薬用検速装置	100～2000m/s　±0.2%
パルス整形器付きソレノイドコイルとクロノグラフ	3000m/s までの速度　±0.1%
スカイスクリーン　クロノグラフ	
ルミラインスクリーンとクロノグラフ	
メイクスクリーン・ブレイクスクリーンとクロノグラフ	

火砲弾薬用検速装置とはドップラー式をいう。その検速下限値は 100m/s とあるが、的間平均速度測定装置の方に、その数値は示されていない。そこで、本文の方を参照すると「センサー間の距離」の項に、つぎのとおりの具体例が表記されている。

6.2.2 的間平均速度測定用測定装置及び器具

（1）　距離の設定　(b)センサー間の距離

センサー間の距離は、弾丸の速度によって決定する。クロノグラフ系の正確さを維持し、距離測定物の物理的誤差の影響を少なくするための推奨距離は、口径に関係なく弾丸速度 180~1,830m/s に対してはその 1／60 とする。また、180m/s 以下の弾丸速度に対する最小距離は、3m とする。

以上の規格に準じて弊社の提供する計測システムの精度を、180m/s、1,830m/s、3,000m/s の三段階に分けて、それぞれの的間距離は速度の 1／60 に当たる、3m、30.5m、50m に設定して具体的な検証を試みる。

ところで、次表を参照していただくと、防衛省規格 NDS　Y　1208 における的間平均速度測定方法の特徴は、第 1 に的間の最小距離を 3m としていること、第 2 に的間時間を一定にしているところにあることが判明する。防衛省 NDS 規格に記された「センサー間の距離は、弾丸の速度によって決定する」というの原則の具体的な意味はここにあった。

「存速」測定の基準になる時間が16.6667ms、つまり商用電源周波数 60Hzの周期であり、テレビジョンの垂直同期周波数とほぼ同じであることは、時間測定だから六十進法を選択したのであろうか、本当のところはよく判らない。また、本項から読み取っていただきたいのは、的間距離の正確な把握こそが高精度測定の要となることである。

（１）精度の検証

弊社の提供するセンサー、ケーブル、インターフェースボックス、PC システムを総合的に組み合わせた場合の精度を４ステップに分けて検証して行く。

＜ステップ１＞

	測定速度	180m/s	1,830m/s	3,000m/s
1	最大許容誤差 ±0.1%	179.82～180.18m/s	1,828.17～1,831.83m/s	2,997～3,003m/s
2	的間距離設定 速度の 1／60	3m	30.5m	50m
3	的間基準時間	3,000mm／180m/s ＝16.6667ms	30,500mm／1,830m/s ＝16.6667ms	50,000mm／3,000m/s ＝16.6667ms
4	時間測定 n 数 カウンター 20MHz（50ns）	16.6667ms/0.00005ms ＝333,334 カウント(n)	同左	同左
5	測定誤差(1) カウンターの時間測定誤差：n±4（200ns）の場合	n+4 3,000mm ／ （ 16.6667 ＋ 0.0002）ms＝180m/s n－4 3,000mm ／ （ 16.6667 － 0.0002）ms＝180.002m/s	n+4 30,500mm ／ （ 16.6667 ＋ 0.0002）ms＝1829.97m/s n－4 30,500mm ／ （ 16.6667 － 0.0002）ms＝1830.02m/s	n+4 50,000mm ／ （ 16.6667 ＋ 0.0002）ms＝2,999.96m/s n－4 50,000mm ／ （ 16.6667 － 0.0002）ms＝3,000.03m/s
6	測定誤差(2) 的間距離測定誤差を±0.1%に設定した場合 （「規格」では 3mm を要求）	L＋3mm 3,003mm ／ 16.6667ms ＝ 180.18m/s L－3mm 2997mm ／ 16.6667ms ＝ 179.82m/s	L＋30.5mm 30,530.5mm／16.6667ms＝ 1,831.83m/s L－30.5mm 30,469.5mm／16.6667ms＝ 1,828.17m/s	L＋50mm 50,030.5mm／16.6667ms＝ 3,001.82m/s L－50mm 49,950mm ／ 16.6667ms ＝ 2,996.99m/s

距離測定の精度を 3mm と指導する防衛省 NDS 規格の理解の仕方の１つをここに示した。距離 3m に対して 3mm、つまり 1／1000（0.1%）の精度要求という捉え方である。当初は 3mm を絶対値として、3m、30.5m、50m の的間距離に対しても±3mm 以内に収めてみる検証計算もしたが、測定対象のスケールが１桁上がることから絶対値を適用する方法は適当でないと考え、パーセント設定を試みた。ここに適用した±0.1%の設定は、あくまでも仮説の設定であるから、次項で更に検討を加えたい。

（２） 離測定の許容誤差設定（±0.05%）

的間平均速度測定の最大誤差は、速くなる方の（n＋4）と（L－3mm)、あるいは遅くなる方の（n－4）と（L＋3m）の組み合わせになる。しかし、実際に計算してみると、答えは m/s の小数点以下の処理に過ぎないことが判る。むしろ、問題となるのは 3mm の意味である。

先の表では 3m に対する 3mm とは､測定距離に対する 0.1%の精度要求と理解している。しかし、NDS に示された 3mm という数値を 3m の 1／1,000 と捉えることは、速度の総合精度 0.1%の枠を、距離精度だけで使い切ってしまうことになる。これでは、時間測定の方の許容誤差が設定できなくなり、現実的でない。そこで、暫定的に距離測定の精度を倍に高めて、1／2,000（±0.05%）の枠を設定してみた。

＜ステップ 2＞

誤差	180m/s	1,830m/s	3,000m/s
速度測定の最大許容誤差 ±0.1%	179.82～180.18m/s	1,828.17～1,831.83m/s	2,997～3,003m/s
距離測定の最大許容誤差 ±0.05%	3,000mm × 5/10,000 ＝ 1.5mm ＋1.5mm 3001.5mm/16.6667ms ＝180.09m/s －1.5mm 2,998.5mm/16.6667ms ＝179.91m/s	30,500m×5/10,000 ＝15.25mm ＋15.25mm 30,515.25mm/16.6667ms ＝1,830.91m/s －15.25mm 30,484.75mm/16.6667ms ＝1,829.08m/s	50,000mm×5/10,000 ＝25mm ＋25mm 50,025mm/16.6667ms ＝3,001.49m/s －25mm 49,975mm/16.6667ms ＝2,998.49m/s

この数値であれば時間測定精度に若干の余裕を残す。確実な高精度距離測定方法として 3D デジタル写真計測法を推奨している弊社にとっても、この許容誤差枠±0.05%なら自前のシステムで十分対応できるから心強い。手軽なレーザー距離計も、3m 以上の設定であれば±1.5mm の精度を保証しているから、安心して使える。

では、時間測定の誤差枠に無理はないのであろうか。＜ステップ 1＞で、カウンターの読み取り誤差をｎ±4（±50n×4＝±200ns）に設定した検証例を示したが、それで十分なのであろうか。次項でその辺りを検討する。

（３） 時間測定の許容誤差設定（±1μs）

時間測定に関するカウンター以外の誤差要因としては、スタートパルスとストップパルスの応答速度のバラツキや、信号伝送路におけるディレーと雑音の混入が考えられる。弊社のシステムはこうした誤差要因を消去する目的で、非接触のルミライン系でも接触型の線的系でも、何れの検出器を採用しても検出直後に信号をデジタル化することにより、応答性の時間差を最小限に押さえると共に、信号伝送路の S／N 比を飛躍的に高めている。

しかし、時間測定系の誤差をカウンターのｎ数だけに限定することは現実的ではない。電気回路は必ずノイズを出し遅延を生む。センシングのディレー差やケーブルの容量の影響とインターフェースボックスを含めた電気回路部の誤差成分に、現場測定に立ち会った幾つかの経験を組み込んで、総合的に±1μs（カウンター誤差 0.2μs＋その他の電気回路誤差 0.8μs）の許容誤差を設定してみた。

＜ステップ 3＞

誤差	180m/s	1,830m/s	3,000m/s
速度測定の最大許容誤差 ±0.1%	179.82～180.18m/s	1,828.17～1,831.83m/s	2,997～3,003m/s
時間測定の最大許容誤差 ±1μs	T+1μs(0.001ms) 3,000mm/16.6677ms =179.99m/s T−1μs 3,000ms/16.6657ms ＝180.01m/s	T+1μs 30,500mm/16.6677ms ＝1,829.89m/s T−1μs 30,500mm/16.6657ms ＝1,830.11m/s	T+1μs 50,000mm/16.6677ms ＝2999.81m/s T−1μs 50,000mm/16.6657ms ＝3,000.17m/s

以上のとおり、距離と時間の許容誤差に関する仮説の設定は、何れの場合も防衛省 NDS 規格の枠内に収まることが判明した。しかし、的間平均速度は、距離と時間のデータから算出する計算値であって、その距離精度の振れと時間精度の振れが最大となる組み合わせを構成して評価しなければ、最終的な精度保証にはならない。

以下、距離と時間の「速くなる方」と「遅くなる方」の最大誤差を組み合わせた場合の検討を試みる。

（4） 最大許容誤差の最終検証

＜ステップ4＞

項目	180m/s	1,830m/s	3,000m/s
速度測定の最大許容誤差 ±0.1%	179.82～180.18m/s	1,828.17～1,831.83m/s	2,997～3,003m/s
最大許容誤差の検証 距離測定 ±0.05% 時間測定 ±1μs	（L－1.5mm）＋（T＋1μs） 2,998.5mm/16.6677ms =179.9m/s （L＋1.5mm）＋（T－1μs） 3,001.5ms/16.6657ms ＝180.1m/s	（L－15.25mm）＋（T＋1μs） 30,484.75mm/16.6677ms ＝1,828.97m/s （L＋15.25mm）＋（T－1μs） 30,515.25mm/16.6657ms ＝1,831.02m/s	（L－25mm）＋（T＋1μs） 49,975mm/16.6677ms ＝2998.31m/s （L＋25mm）＋（T－1μs） 50,025mm/16.6657ms ＝3,001.67m/s

以上のとおり、ステップ１~４の段階的な検証により、弊社の的間距離測定精度±0.05%の設定と的間時間測定精度±1μs の設定は、最大誤差を生む組み合わせであっても防衛省規格 NDS　Y　1208 の推奨する速度の測定精度±0.1%に適合することが判明した。仮説の設定は検証されたのである。

４－２　「試験成績書(A)／(B)」の検査仕様

（１） 試験成績書の種類

番号	種類	検査仕様	数量
1	試験成績書(A)	「防衛省規格」NDS　Y　1208 に準拠する「試験成績書」の発行。 センサーとケーブル及びインターフェースボックスの最大 4 的間の単射仕様による検査に基づく。	4 的間／１部
2	試験成績書(B)	「防衛省規格」NDS　Y　1208 に準拠する「試験成績書」の発行。 （A）の検出装置（インターフェースボックスを含む）に、弊社の弾丸速度測定 PC システムを加えた最大 4 的間の単射仕様による検査に基づく。	4 的間／１部

（２） 試験成績書(A)の検査対象製品はつぎのとおりとする。

① センサー

番号	品　名	型　式
1	ルミラインスクリーン	TS0793
2	フォトスクリーン改造型	SPU-3C-U2
3	デジタル・ラインドライバーボックス（2 個 1 組）	TS0778-2

② ケーブル

	センサー条件	ケーブルの品名	型　式
1	デジタル・ラインドライバー付き	専用リード線×2／1 組	SL3M
		専用センサーケーブル(S)　25m×2/1 組	SC25M
		専用センサーケーブル(M) リール付き 100m×2／1 組	SC100M
		専用リール接続ケーブル　3m×2／1 組	SR3M

③ インターフェース

番号	品　名	型　式
1	弾速計測インターフェースボックス	TS0778-1

（3） 検査条件

次表のとおり、「防衛省規格」NDS　Y　1208　の測定条件に準拠する。ただし、的間距離精度については、４－３（２）及び（４）項で定めた社内基準による。

測定速度	180m/s の場合	1830m/s の場合	3000m/s の場合
的間距離	3m	30.5m	50m
的間時間	16.6667ms	同左	同左
的間距離精度	的間距離測定誤差は±0.05%以内にあること		
速度測定の最大許容誤差	±0.1%		

（4） 検査方法

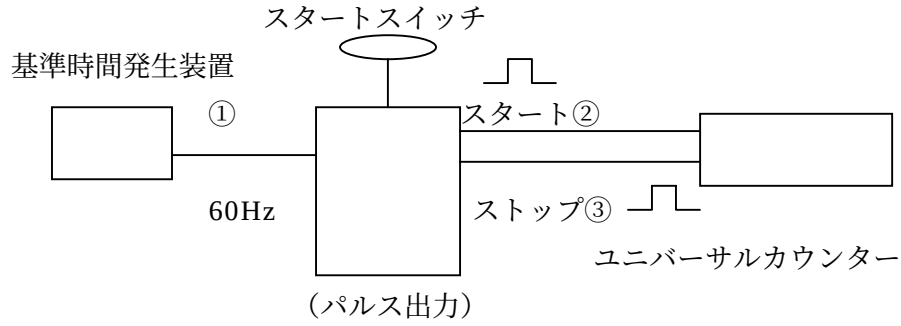
弾丸の的間平均速度を±0.1%以内の精度で測定するための、時間測定系の保証をすることが検査の目的である。その方法は先の表の「的間時間」16.66666・・・ms を校正されたファンクションジェネレーターで電気的に作り出し、本測定系を通して校正されたユニバーサルカウンターによって測定することを基本とする。その手順はつぎのとおりである。

検査手順書

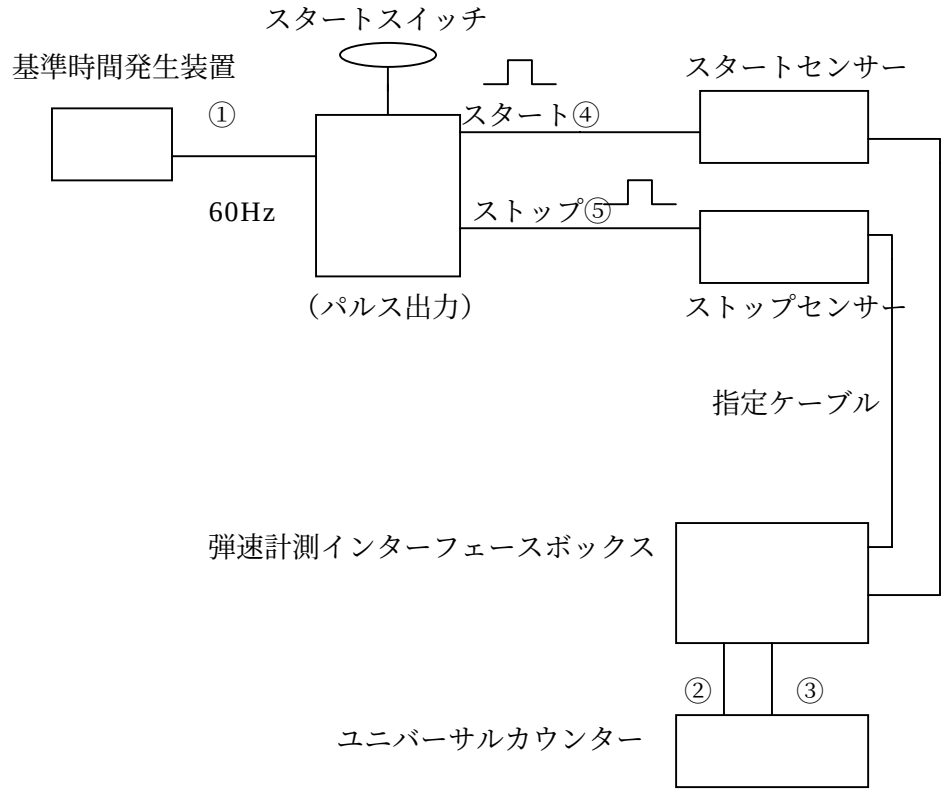
番号	検査手順	内　容
1	基準信号の検査	「防衛省規格」により定められた基準時間のスタートパルスとストップパルスを出力する基準時間発生装置を組み立て、その時間を校正されたユニバーサルカウンターで検査する。調整誤差は 16.6667ms±0.0002ms（200ns）とする。また検査用リード線①～③の 3 本は BNC-BNC 同軸ケーブル 2m とする。
2	実際の測定系を組む	基準時間発生装置から出力するスタートパルスは検査用リード線④によってスタート用センサーのチェック端子に入力する。同様にストップパルスも検査用リード線⑤によってストップ用センサーに入力する。 スタート用、ストップ用に決められた 2 台 1 組のセンサーは、指定されたケーブルによって、弾速計測インターフェースボックスの指定された入力端子に接続する。 検査用リード線④⑤は BNC-ワニ口クリップ同軸ケーブル 2m とする。
3	的間時間の検査	インターフェースボックスの指定されたモニター端子に校正されたユニバーサルカウンターを接続し時間測定を実施する。 検査用リード線は②③を用いる。

図 6　検査手順書の図解

ステップ 1



ステップ 2 及び 3



（5） 検査用機器はつぎのとおりとする。

番号	機器名	内　容	数量
1	基準時間発生装置	社内製	1 組
2	時間測定器	ユニバーサルカウンター	1 台
3	検査用具	検査用リード線①～⑤	5 本

（6）合否の判定

ユニバーサルカウンターによる時間測定値が、16.6667ms±1μs（16.6657~16.6677ms）以内であれば合格とする。

（7）弾丸速度測定 PC システムと組み合わせる試験成績書（B）の場合

センシング系は、試験成績書(A)と同様の検査仕様である。試験成績書(B)の場合は、PC が表示する的間時間数値と、インターフェースボックスのモニター出力に接続したユニバーサルカウンターの時間表示値の相互確認で合否を判定する。

４－３　的間距離測定のツール（デジタル写真計測とレーザー距離計）

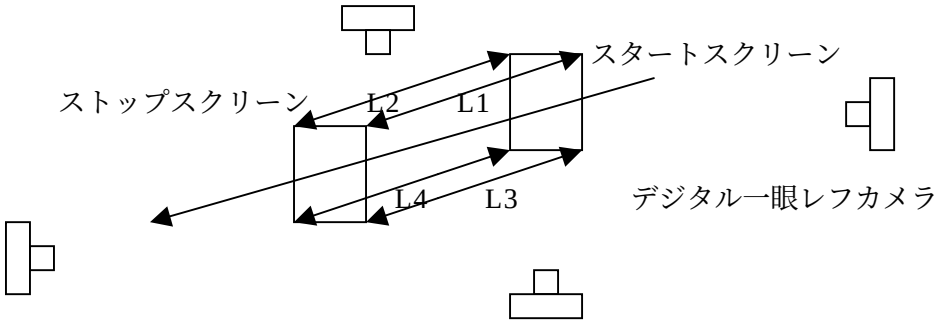
NDS　Y　1208　には丁寧な「解説」が付いている。この文書の筆者は「的間平均速度測定で最も誤差の入りやすいのが的間距離の測定である」と指摘し、その項目を「距離は測定装置及び器具の設置，距離測定方法などによって大きな誤差を生じる可能性がある。TOP では的間距離の測定に対し，3mm 以内の精度を要求している」。と結んでいる。

弊社は、新しい測量方法としてデジタル写真計測ソフト・自動解析システム「XYZen」（豪州フォトメトリクス社製）に注目し、その検定付基準器及びスケールバー、あるいはコーデット（自動認識）ターゲットや反射ターゲットを営業品目に加え、従来からの「鋼巻尺」や「電子距離測定器」による測定方法に対して、新たな測量手法を提案している。この反射ターゲットの中心には微小なガラス球が埋め込まれてあり、１ピクセル（画素）を 10 分割してセンターを割り出す能力を引き出している。

この 3D ソフトは、測定対象物に反射ターゲットを張って多方向からストロボフラッシュによるデジタル写真を撮影した後、そのデータを自動解析することにより 1mm 未満の測定精度を保証する。このソフトは、ほとんどの市販レンズのデータをプリインストールしてあるから、収差の補正ができることを特徴とする。したがって、一度決めた焦点距離は無限大であっても、撮影が終了するまで固定しておかなければならない。防衛省 NDS 規格が要求する的間距離の測定精度は 3mm であるから、「XYZen」はこの要求に十分応えることができる。

測定（撮影）の概略はレンズの画角を知ることからはじまる。F28mm(f2.8)の標準レンズの場合、1 画面の撮影幅は約 15m（最大撮影距離：約 30m）である。的間 30.5m の場合は重複撮影が必要になる。また、仮設ターゲット（反射ターゲットを 5 枚貼り付けた 1,500～1,800mm のバー×10 本）を準備して検定する。一方的間距離が 15m 以下になるとずっと簡便になる。標準仕様の検定付基準器とスケールバー6 本（L：1,000mm）を用いれば準備万全、撮影枚数も少なくて済む。

図 5　4 箇所の的間距離（L1～4）を 3D デジタル写真計測する



こうした新しい計測手法を活用することによって、2 的間（L1~L4）距離の最大誤差が所定の精度内にあることを確認してから、時間測定に入っていただきたい。

また、的間距離 3m 以上を±1.5mm（±0.05%）の測定精度で計るリーズナブルな価格のレーザー距離計とそのオプションがあるからつぎのとおり紹介する。

1. レーザー距離計　LS-311　マックス株式会社　標準価格¥33,000（税込み¥34,650）
2. ターゲットプレート A4（必需品）　¥3,000（税込み¥3.150）

この距離計の測定範囲は 0.05～60m であり、全域を±1.5mm の精度でカバーするから、本測定の想定する的間距離の全域で役立つ。ただし、無条件で使用できるのは 3m 以上であって、的間距離を 3m 以下に設定する場合は、粗調以外には使用しないでいただきたい。この距離計の精度が±1.5mm だからである。

５項で詳しく述べるが、例えば、的間距離が 1m の場合の測長精度は、最大許容誤差の条件を甘くしても±0.5mm を必要とする。この距離計では粗すぎるのである。そしてさらに、的間距離測定の許容誤差を±3mm にすることの妥当性についても詳しく検討したい。

４－４　防衛省規格 NDS　Y　1210 火砲の発射速度測定法との関連他

かつて、筆者は「火砲の弾丸速度測定方法」のなかに単射／連射の区分があり、連射は接触型の線的では対応できないから、非接触型のルミラインスクリーンが弾丸速度測定の主流になると思い込んでいた。しかし、この連続射撃の測定は別の概念で制定されている。それが、NDS　Y　1210 火砲の発射速度測定法である。この規格は連続発射の評価を弾丸ではなく、第 1 に火薬の爆発で生じる衝撃波を「火砲の挙動」による加速度として検出する方法、第 2 に「発射現象」による衝撃波の空気伝播を砲口直下の圧力として検出する方法、第 3 は「発射機能」による検出で電気雷管式回路の発火電圧のスイッチングパルスをアッテネーター経由で測定する方法である。目的は検出信号の振幅（物理量）にはなく、連続過渡現象の時系列的なパルス検出を発射速度として測定し、最終的にはつぎの式に従ったR.P.M.値として算出するのである。

N＝（n－1）・60／t

N：一分間当たりの発射弾数（単位、R.P.M.）

t：連続射撃時間（単位、秒）

n：発射弾数（射撃試験計画で規定された数と実測数による）

測定スケール（発射速度）N の最大値を 1,500R.P.M.とし連続発射時間 t の上限を 10 秒とすれば、発射弾数 n の最大値は 250 になる。センサーのアナログパルスを TTL のデジタルパルスに変換すればカウンターが使える。連続発射時間測定と、その間を埋める最大 250 発相当の発射弾数を数えるプログラムを組むことで、連続発射時間〇．〇〇〇秒、発射弾数〇〇〇発の測定が完了する。後は前述の式から R.P.M.の計算をする。ただし、規格は 3 回測定して平均値を出すことを要求しているから、その仕様に応える。課題は、センサーの選択とそのアナログアンプとデジタル化の回路を組み込む発射速度計測用インターフェースボックスの設計になる。

また、雷管発火電圧のスイッチングパルス測定用アッテネーターは専用前置装置として単独に設置し、インターフェースボックスとは電気的にアイソレーションする必要がある。空中伝播する電磁波障害をどう防ぐかは、大きな課題になると思われる。

防衛省 NDS 規格はセンサーアンプに動ひずみ計を記しているから、加速度も圧力もひずみゲージ式変換器を想定している。しかし、この系の周波数特性は DC～10KHz 程度である。発射弾数は数えられるが、信号源は衝撃波であり、その伝播速度は金属内弾性波で 1,500m/s クラス、空気中音波で 331m/s 近辺にある。ms の応答系で連続発射時間を測るとどうしても測定毎にバラツキが生じることとなる。3 回平均法が定めてある所以であろう。発射速度測定に相応しいのは AC～500kHz、または 1MHz の F 特をもつセラミック AE センサーであり、そのなかでも高温に耐える製品なのではないか。

インターフェースボックスには、ATTプリボックスから送られてくるスイッチングパル

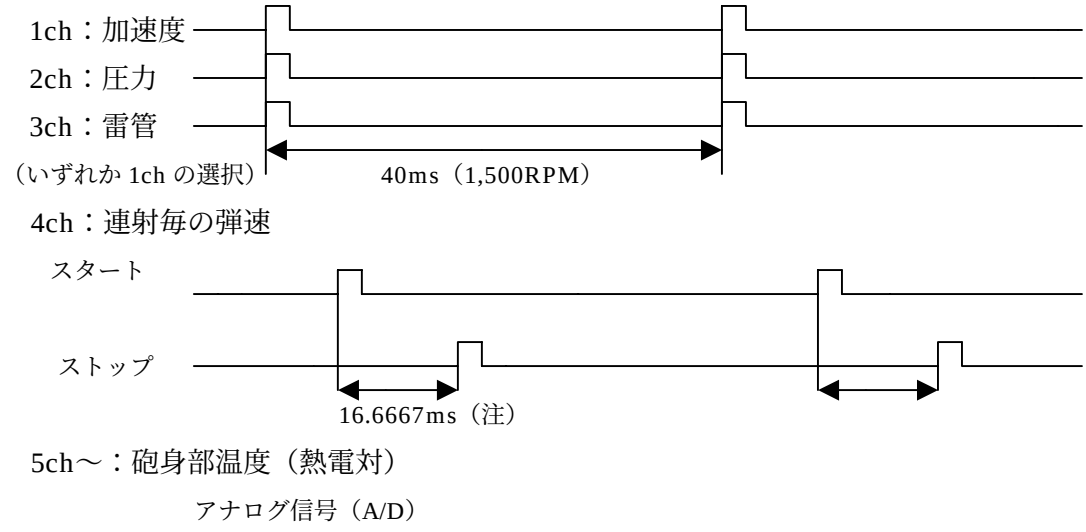
ス入力用回路１chとAEセンサー用アンプ 2chを組み込み、何れもデジタルパルスに変換してPCのカウンターボードに通信する。計測の基本構想として、以上の高速応答モデルを提案したいが、実は熱電対による砲身部の温度上昇測定が必要となるのである。それを示唆するのが、NDS　Y　1213 火砲の連続発射試験方法とその解説である。

そして、この発射速度測定の時間測定系と砲身部温度測定系に、連射に対応するルミラインスクリーンによる弾丸速度測定系を組み込むのが､実は防衛省規格　部門Y　武器の暗に示唆する方向ではないのか、と推察するのである。

前述したとおり、従来から弊社では、連続射撃時の弾丸速度測定を弾速計測ソフトの単射／連射モードの切り替えで行ってきたが、この連射モードは、「防衛省規格」NDS　Y 1210 火砲の発射速度測定に定められた 3 つのパラメーター（加速度、圧力、雷管パルス）測定と NDS　Y　1213 火砲の連続発射試験方法に定められた砲身部温度測定の方に加える測定法を提案させていただきたい。

この測定は、火砲の最大連続射撃性能（発射速度測定範囲のこと）を仮に 1,500RPM（25Hz：40ms）と設定した場合、このタイミングのなかで防衛省 NDS 規格の弾丸速度測定に定められた的間時間 16.6667ms（60Hz）を正確にカウントすることがポイントになる。

図 4　発射速度測定と連続発射の弾丸速度測定のタイミング及び砲身部温度測定チャート



（注）弾丸速度測定の基準時間が 16.6667ms になる理由については、前述した４－１項　「火砲の弾丸速度測定方法　解説」の推奨する最大許容誤差±0.1%との対応、をご参照ください。

また本項では、発射弾数 n の MAX を 250 発、連続射撃時間 t を 10 秒としたが、連続発射の評価基準を詳細に調べた結果ではないから、暫定値であることをお断りさせていただきたい。

５．運用方法

５－１　的間距離 3m の適用範囲

本項では、防衛省 NDS 規格に対する現実的な運用の方法について検討する。「規格」を侮るからではなく、尊重すればこそ、その具体的な運用方法を検討しておきたいのである。それは、A 社では、例えば 1,500～1,830m/s の速度測定を必要とするが、規格に準じた 1,500/60＝25m～1,830/60＝30.5m の的間距離を設置する射場が確保できない。的間距離 3m で、規格に準拠する測定ができないものか、という現実的な事例を想定した検討になる。

具体例として、3m の的間距離で 1,830m/s の速度を測定した場合を検証してみる。精度の基準となる測定時間は 3,000mm／1,830m/s＝1.63934ms である。最大許容誤差は±0.1%であるから、この速度測定の許容誤差範囲は 1,828.17～1,831.83m/s になる。先に示した的間距離測定誤差±0.05%、時間測定誤差±1μs（0.001ms）の条件を適用して、最大誤差範囲の計算をすると、つぎのとおりの微妙な数値を示す。

（3,000－1.5＝2,998.5mm）／（1.63934＋0.001＝1.64034ms）＝1,827.97m/s
（3,000＋1.5＝3,001.5mm）／（1.63934－0.001＝1.63834ms）＝1,832.04m/s

現実的には、m/s の速度計算値の小数点以下四捨五入が認められれば合格となる。そのためには、その旨が仕様書に明記されていることが必須となる。〇,〇〇〇～〇,〇〇〇m/s（小数点以下四捨五入）、といった要求精度表記が望ましい。

ところで、誤解があるといけないから申し添えておくが、ここに示した、距離の測定精度±0.05%と、時間の測定精度±１μsの適用は、的間距離が 3m以上の場合に限るのであって、NDS規格外の 2mや 1mの短い的間距離を設定した場合には通用しないから、この点はくれぐれも間違いのないようにご承知おきいただきたい。

ところが、諸々の測定条件や測定目的から、的間距離を 2m や 1m、あるいはそれ以下に短縮する要求も出てくるわけで、その場合の精度保証も検討しておかなければならない現実がある。だが、その要求に応えるためには、今までの NDS 規格遵守の検証作業を一度リセットし、新たな課題として、項を改めて検討させていただきたい。

事は異にて、正確な「存速」測定に課せられた±0.1%の精度を、3m 以下の短い的間距離で保証することは、極めて困難だからである。

５－２　的間距離 3m 以下への運用

（１） 最大許容誤差±0.2%の適用

的間距離 3m 以下の速度測定に対する、NDS 規格運用の手がかりは、NDS 規格に添付された「解説」のなかで、ドップラー式検速器に示されている最大許容誤差±0.2%にあると思われる。この許容誤差を 3m 以下の的間速度測定に適用することが認められるようになれば、防衛省 NDS 規格は、射撃試験の現場測定により広く取り入れられるようになるに相違ない。今のままでは、現場の計測担当者は真面目であればあるほど半ば諦めた状態から脱出することができない。なぜなら、NDS の定める厳しい精度要求では、遵守することなどとても無理だ、とはじめから諦めているからである。確かに、鋼巻尺による距離測定と、検出したアナログパルスをそのまま同軸ケーブルで引き回しているうちは難しい。しかし、諦めてはいけない。

筆者は平成１９年７月末に、この「説明書」の第 3 版を携えて東北方面の営業に出たが、青森では、非接触系の弾丸速度測定は小口径であってもマイクロ波ドップラー式検速装置を主体にしている、と伺ってきた。一方、福島では、線的・箔的の接触型を主とするが、的間距離は 1m の設定が多い、というお話であった。

短い的間距離測定への志向と意欲は、NDS 規格の定めるとおり的間距離を測定弾丸速度の 1/60 にすると、かなり長距離になって射場の確保と正確な距離測定に費用と手間がかかる、という側面だけでなく、諸々の速度試験データから明らかになっていることの一つに、弾丸速度が速まれば速まるほど空気抵抗も高くなって、弾道距離に相応する減速比が思いの他大きい、ということがあり、その影響も強いと思われる。また、時間測定用の汎用カウンターボードの時間分解能が高くなっていることによって、比較的短い的間距離であっても高精度な時間測定が可能となっていることが上げられる。弊社で標準仕様としている 20MHz（50ns）×4ch のボードを用いて、カウンターの N 数を 50ns×20,000ｎに想定すれば、N＝1,000,000ns となる。つまり 1ms（999.9μs）である。この測定時間は、1,000m/s で飛翔する弾丸が 1m 移動する的間距離に相応し、この場合１カウント当たりの弾丸移動距離は 1,000mm／20,000＝0.05mm になる。弾丸の寸法にもよるが十分な分解能と思える。

また、ドップラー式検速装置はドップラー効果による速度の直接的な瞬時計測であるといっても、NDS 規格によれば、本検速装置から照準する速度測定ポイントは、初速 400m/s 以下の場合、砲口から約 60m、それ以上の場合は倍の約 120m 先と定めて、ドップラー効果の受信する角度の差で生ずる誤差を極力防いでいる。それ程自在な速度測定ができるわけではないようである。

以上が、定点式センサーであっても、できるだけ短い的間距離での速度測定が望まれ、実際に実施されていることの主な理由である。確かに、定点式の的間平均速度測定用センサーでは、GHz 帯のマイクロ波を発信して弾道を追尾し、弾丸速度の瞬時値を得るというドップラー式検速装置の真似はできない。それでも、NDS 規格の定める「存速」測定の精度範囲内で、つまり、一定の許容誤差内に収まる限り短い的間距離を設定して、「初速」側

の、あるいは「着速」側の、的確な位置での的間平均速度測定を実施することへの要望は強いのである。

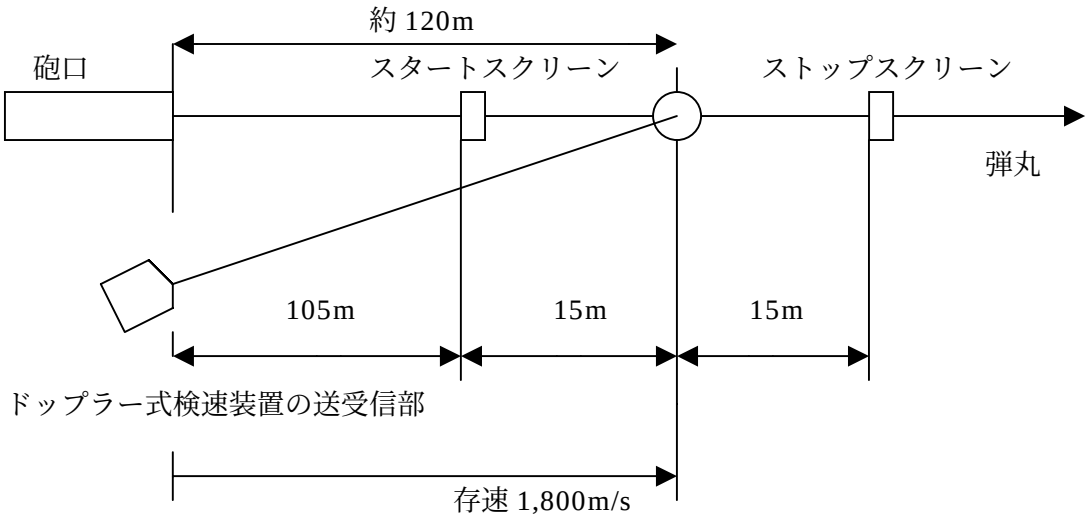
しかしながら、NDS　Y　1208 には、つぎのような指摘のあることを忘れてはならない。

４．測定条件　（３）2 種類の測定方法を併用することが望ましい。

６．測定方法　6.1　測定方法の選定　火砲弾薬用検速装置以外の方法を選択した場合には、火砲弾薬用検速装置をバックアップとして併用することが望ましい。

測定のリファレンス（基準）は、火砲弾薬用検速装置（ドップラー式）にあると記されている。しかし、精度要求は的間平均速度測定の方が厳しいのである。この逆転現象は、測定の原理にあって、的間速度測定は、正確なものさしと時計があれば人為的な工夫で高精度測定が達成できることを根拠にしているようだ。そしてそこには、何れは速度が直読できるドップラー式検速装置の技術が向上して精度も上がるであろう、という暗黙の了解が隠されているように見える。この技術展望は正しいと思われる。では、相互補完する 2 種類の測定方法とは、どのような形で併用されるのであろうか。

図 7　ドップラー式測定との併用例（弾丸速度：1,800m/s の場合）



この動かしがたい確固たる測定方法が、NDS　Y　1208　に示されている「火砲の弾丸速度測定方法」の全体像なのである。的間平均速度測定の最大許容誤差が±0.1%でなければならない所以もここにある。この測定方法が確立していることを十分に承知した上で、そのバリエーションとして、同規格の運用方法の検討がなされなければ意味がない。弊社が、NDS 規格運用の一方法として、最大許容誤差±0.2%の適用を提言するのは、幹ではな

く枝葉の問題として、自らの分をわきまえた上での所作であることを、ぜひともご理解いただきたい。その上で次項の提案をさせていただく。

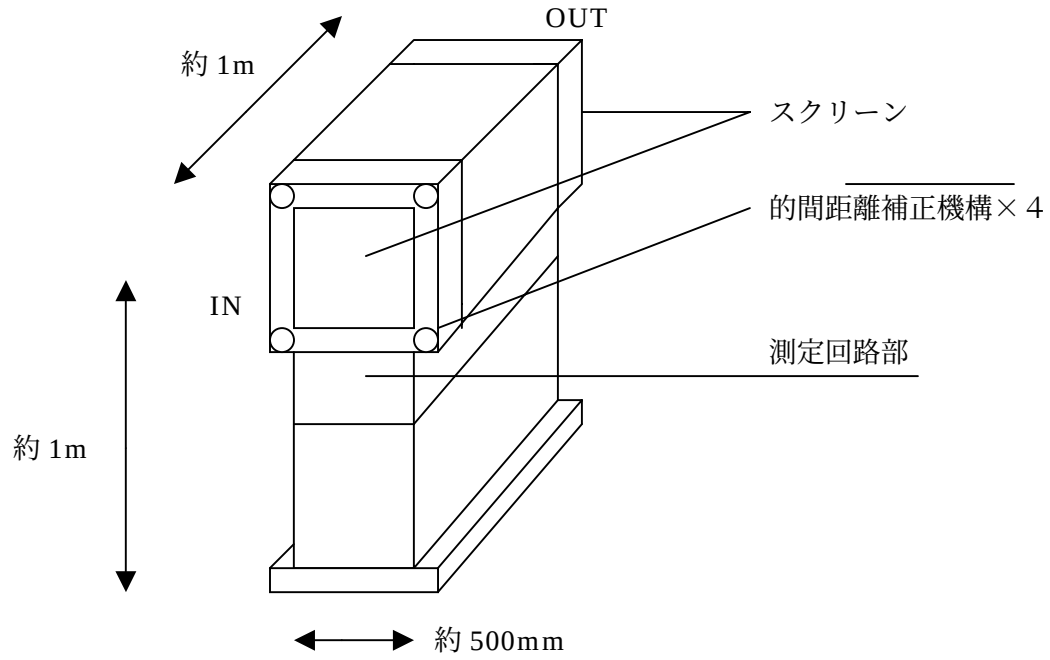
（2）「一体型弾速計測スクリーン」の提案

本項では、的間距離を 1m と短く設定しても相応の精度を保証するモデルを模索する。

そのために、スタートパルスとストップパルスのスクリーンを 1 つの筐体内に収納することで、的間距離精度を確保し、その精度保証として、IN／OUT 一対のスクリーンの平行度を±0.5mm 以内に保つ距離補正機構を施した「一体型弾速計測スクリーン」の製作を想定する。以下、このセンサーを用いた場合の速度測定精度を検証してみる。

的間距離は目論見のとおり 1m に設定するが、スクリーンを光にするか、線的にするかについては未定とする。同じ的間平均速度測定法に準拠させるのだから、その機構設計は両者に適合することが望ましい。また、線的の場合は 1,050mm 間隔であり、光の場合は 900mm になっても構わない。その逆も可である。両面の平行度さえ±0.5mm 以内の精度で調整可能であればいい。そして、有効受感面サイズは 500×500mm 以上を目安にする。弾丸あるいは破片と測定機材との接触事故を未然に防ぐことは大切であり、また高価な機材を損傷することは忍び難いわけで、その期待にお応えしたいからである。なお、弊社のルミラインスクリーンは有効受感面 500×1,000mm であるから、最大寸法に余裕はあるが、一体型の使い勝手を考慮した場合、500×500mm が適当なのではないかと思われる。

図 8　一体型弾速計測スクリーンの構想



精度計算に必要な仕様をつぎのとおりに定める。

１．測定範囲：100m/s～2,000m/s
２．的間距離：約 1,000mm
３．的間平行度調整範囲：±0.5mm
４．時間測定精度：±0.5μs

肝心の最大許容誤差はドップラー式に準ずる「±0.2%」を特別に適用させていただく。
測定の基準時間は、1,000mm／2,000m/s＝0.5ms であり、最大許容誤差範囲は、±0.2%の運用で 1,996～2,004m/s となる。以上の条件下での検証結果はつぎのとおりである。

（1,000－0.5＝999.5mm）／（0.5＋0.0005＝0.5005ms）＝1,997m/s
（1,000＋0.5＝1,000.5mm）／（0.5－0.0005＝0.4995ms）＝2,003m/s

この的間 1m の提案仕様は、「センサー間の距離は、弾丸の速度によって決定する」、という NDS 規格の基本方針からは逸脱するが、常識的なレベルでの上限を狙った距離と時間の測定精度を用いて検証した結果が、ドップラー式検速装置の最大許容誤差である±0.2%をクリアーしていることは、NDS 規格運用上の実用器の名に値するのではないか・・・
さて、以上の検証結果から明らかになることは、的間平均速度測定の最小距離は、最大許容誤差を±0.2%に拡大した場合でも約 1m を必要とする、ということである。研究用等特別な目的のある場合を除いた、一般的な「存速」測定の場合、これ以上短くすることは精度計算を机上の空論に押しやる。ただし、精度の許容枠を±1%等に拡大することが可能な場合や、速度の測定範囲を遅い方に限定すれば、的間距離を更に短くすることは可能である。

６．納入実績と比較表

６－１　納入実績（何れも製造終了製品）

(1) ルミラインスクリーン弾速計測装置　（光検出器 TS0475／演算処理器 TS0476）

契約名	「発射速度測定装置」（防衛省規格の用語定義とは異なる。仕様内容は弾丸速度測定装置である）
納入先	陸上自衛隊補給統制本部　弾薬部試験室（吉井地区）
特徴	①屋外射場環境下において投･受光器間距離 5mの条件でも安定した測定をする。 ②的間時間測定は PC に組み込んだカウンターボードで行う構成で、予め入力された的間距離から速度計算をする演算処理器（PC セット）と組み合わせる。 ③本装置は光検出器と演算処理器のシステム構成だが、納入後 10 年を経た時に演算処理器をリニューアルし、光検出器のアナログ出力をインターフェースボックスでデジタル化して PC 通信する仕様に変更した。また計測ソフトは 3 的間対応の単射／連続射撃選択方式を採用し実績を積んでいる。 ④的間平均速度測定の仕様は 3 的間対応で内容は A-B、B-C、C-D 間である。

(2)　ルミラインスクリーン・ニューフォトセンサー　NFS300

契約名	「フォトスクリーン」、「小口径弾丸速度計測装置」、「弾速計測装置」等々
納入先	防衛省技術研究本部陸上装備研究所弾道技術研究部（旧第 1 研究所第２部） 防衛省技術研究本部下北試験場他
特徴	①高輝度 LED を一列に並べて線光源を生成し、光検出器には高速応答の pin 結合フォトダイオードを採用する。 ②線光源側の LED と光検出器側の pin 結合フォトダイオードは、光変調方式によって同期がとられている。 ③有効スクリーンサイズは、縦 240×横 300mm と小型だが、応答性は１μs を保証するから、火砲の連続射撃による 1 弾毎の速度測定に対応する。 ④PC ステムを組む場合は、弾速計測インターフェースボックス TS0778-1 との組み合わせが有効である。 ⑤高応答であるため、高速度ビデオのスタート同期信号としても活用される。

６－２　現行するルミラインスクリーン２機種の比較と評価

	製品名	フォトスクリーン	ルミラインスクリーン	備考
1	型式	SPU-3C／D	TS0793	
2	製造会社	（株）菅原研究所	東海プラネット（株）	
3	販売会社		東海プラネット（株）	
4	検出原理	線光源による弾丸の影の非接触検出	同左	
5	検出サイズ	直径 5mm 以上の弾丸や破片	同左	
6	有効スクリーンサイズ	縦 500×横 300mm	縦 500×横 1,000mm	
7	スクリーンの光学系	「ルミラインランプ」を国産化したラインフィラメントランプによる橙色のスクリーン	LD と pin フォトダイオードを一対一対向に並べた赤色レーザースクリーン	
8	光検出器	フォトトランジスタ	pin フォトダイオード	
9	応答性	―	1μs 以下	
10	出力信号	3C:アナログパルス 1／5V 切り替え（標準） 3D:可変型（0.2～2V）	TTL デジタルパルス （ラインドライバー内臓）	
11	評価	従来の管球による光源を用いたルミラインスクリーンのリファレンスモデルである。感度は高く出力段にラインドライバーを組み込んだ SPU-3C-U2 とラインレシーバーの組み合わせでは、室内射場でのエアライフル 4.5 口径の速度測定に安定した性能を発揮した。ただし、本器は屋外使用では遮光カバーを必須とする。本来室内用である。	平成 20 年 8 月発表の最新モデル。レーザーダイオードを用いたルミラインスクリーンの新しいリファレンスモデルである。管球式に比べて応答性、耐久性に優れ、連射に対応し、速度演算処理までシステムが構築されている。納入時には、防衛省規格に準拠する試験成績書の付いた保証書が添付される。完成は 21 年夏の予定。屋外使用に耐える。	

後記

防衛省規格NDS　Y　1208 火砲の弾丸速度測定方法の定めるルミラインスクリーンとは、㈱菅原研究所殿からフォトスクリーンの名称で販売されている製品のことである。その性能の不安定さに泣かされたのはお客様だけではない。㈱菅原研究所の代理店であった旧昭栄電機㈱に勤務していた筆者はその出力をオシロで見ながら半固定のボリュームを幾度調整したか計りしれない。当時は、とにかく取れればいい、カウンターに○．○○○msとそれらしい値が表示されればいいという水準に甘んじていた。富士の実験隊殿には 512 発の連続発射対応の専用速度演算器をフォトスクリーンに接続する装置として納入させていただいたが、10 弾発射したのに数 10 弾以上の速度が表示されることがあると指摘された。それでも目黒にある旧第１研究所のK技官殿がご指導してくださったお陰で、LED採用の「ニューフォトセンサー」が完成した。応答速度 1μsを保証せよ、と明快に語る今は亡き防衛技官殿の声が今でも耳の底でうずく。しかし「フォト」は不安定という定説は根強く、「ニューフォト」も知る人のみ知るだけの水準に甘んじたまま、製品寿命を終えた。

現在、弊社では、懸案であった線光源に LD（レーザーダイオード）を採用する光学系の見直しを計り、投受光器間距離を飛躍的に伸ばした新製品を発表した。「ルミラインスクリーン」TS0793 である。現在、陸上幕僚監部装備部殿、補給統制隊弾薬部殿、及び開発実験団殿と装備実験隊殿とお打ち合わせを重ねている特殊な散弾の速度測定にも非接触検出法は有効な測定方法である。

また、LD採用のメリットは検出有効面積を拡大するだけでなく、一対のLDとpinフォトダイオードをワンビームで結ぶことから、スクリーンにXY二次元の座標を構築することにより、弾丸の座標情報が得られるところにある。弊社は、NDS　Y　1211 火砲の射弾散布試験方法で制定された弾着座標の測定（位置の分解能cm単位）への応用、高精度電子標的への応用、さらにはスクリーンを三幕以上設置することにより実現する弾丸や破片弾道の三次元計測装置への展開、等々を提案させていただく所存でいる。より高度な散弾の速度測定も三次元化は必須である。

一方、ブレイクスクリーン、つまり線的による弾丸速度測定にも苦い思い出がある。白河にある射場で行われた 12.7mm と 20mm 弾丸を対象とした長期に渡る射撃試験補助業務であった。筆者が現地で目の当たりにしたのは、紙にプリントされた導箔を飛来する弾丸が切断するブレイク信号の立下りエッジの検出だけをすればいい単純な PC 計測でも、カウントに失敗することがある、という事実であった。

こうした一連の苦渋も今振り返れば懐かしい。なぜなら当時のフォトも線的も、実は検出部内部では弾丸の飛来を確実に検知していた、と評価できるようになったからである。未熟だったのは、われわれ装置提供者側の信号伝送系のノイズ防止対策である。検出信号の微妙な変化を素早く捕らえて、正確に送･受信するデジタル伝送技術の応用に活路があった。現在は、東海プラネット㈱の商品化した「弾速計測インターフェースボックス」TS0778-1 が、この課題に応えている。線的や箔的用の新製品「デジタル・ラインドライバーボックス」TS0778-2 の発売も同様の趣旨から生まれた。

この説明書は、コマーシャルチャンネルに乗せる宣伝文書だが、弊社の提供する弾速計測システムを防衛省規格NDS　Y　1208 火砲の弾丸速度測定方法　解説の推奨する最大許容誤差±0.1%に準拠させるための工夫を最後まで忘れていない。このことは製品仕様の説明を超える頁数をNDS規格に準ずることの「品質保証」や「運用方法」の説明に費やしたことからも、ご理解いただけるものと思う。官民関係者各位のご批評の対象となれば幸いである。格別なるご指導とお引き立てを賜りたく切にお願いする次第である。また、本説明書の姉妹篇として「アプリケーション篇」を順次お届けする予定を組んでいる。

平成 20 年 11 月　陸上自衛隊富士学校殿主催「富士調査研究会同教材展示会」出展の日に

東海プラネット株式会社
営業部　宿谷　和彦

発行：東海プラネット株式会社

東京本社

住所：〒185-0012　東京都国分寺市本町 3-10-22
オリエントプラザ国分寺 604
TEL：042-321-1910　FAX：042-322-6973

高崎事業所

住所：〒370-0018　群馬県高崎市新保町 1726-1
TEL：027-360-5263　FAX：027-353-3482

http://www.tokai-planet.co.jp

お問い合わせ窓口・・・・・・　東京本社　営業部　宿谷（しゅくや）　和彦（かずひこ）

mailto:syukuya@tokai-planet.co.jp

（非売品）　不許複製・禁無断転載